

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-274547

(43)Date of publication of application : 08.10.1999

(51)Int.Cl.

H01L 31/12  
G02B 6/122  
H04B 10/08

(21)Application number : 10-070751

(71)Applicant : NEC CORP  
SUMITOMO OSAKA  
CEMENT CO LTD

(22)Date of filing :

19.03.1998

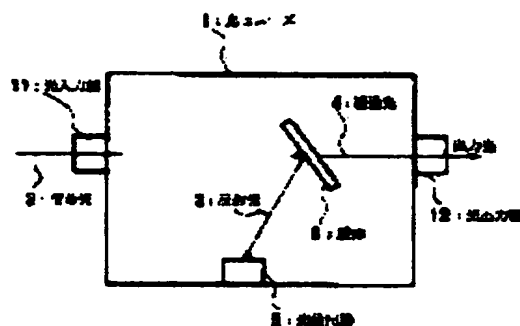
(72)Inventor : TANEDA YASUHIKA  
OGATA TAKAAKI  
NAGATA HIROTOSHI  
ICHIKAWA JUNICHIRO  
HIKUMA KAORU

## (54) LIGHT FUSE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To avoid damaging optical components in an apparatus in the case light surge pulses occur and facilitate the maintenance in a system for directly amplifying and transmitting a light.

**SOLUTION:** The light fuse comprises a light input part 11 for inputting a signal light, film 6 disposed at specified inclination angle to the signal light incoming from the light input part 11 wherein the transmittance and reflectivity are irreversibly changed according to the signal light power, and light output part 12 for outputting a transmitted light from the film 6 to outside, and if the signal light power exceeds specified power, the film 6 attenuates the signal light to cut off the signal light from the light output part. A light detector 5 detects the power change of a reflected light 3, thereby detecting the cut off.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.03.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of

**BEST AVAILABLE COPY**

125

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-274547

(43)公開日 平成11年(1999)10月8日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 31/12

H 0 1 L 31/12

A

G 0 2 B 6/122

G 0 2 B 6/12

B

H 0 4 B 10/08

H 0 4 B 9/00

K

審査請求 有 請求項の数5 O L (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平10-70751

(22)出願日

平成10年(1998)3月19日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(71)出願人 000183266

住友大阪セメント株式会社

東京都千代田区神田美土代町1番地

(72)発明者 種田 泰久

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株

式会社内

(72)発明者 緒方 孝昭

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株

式会社内

(74)代理人 弁理士 高橋 昭男 (外4名)

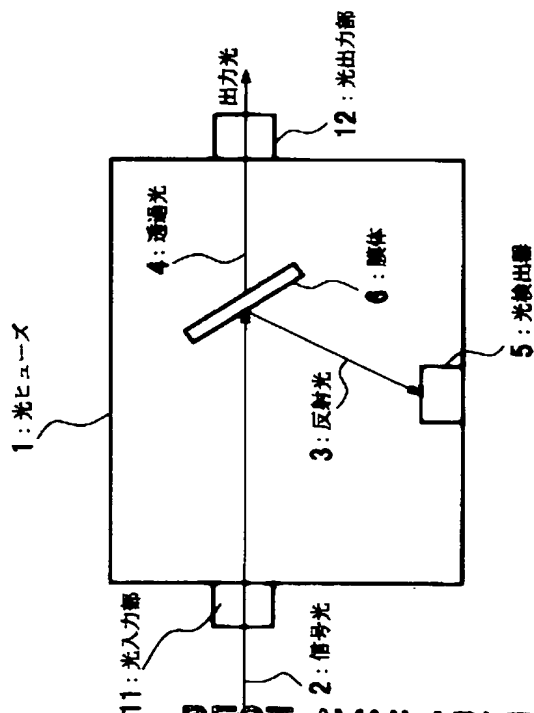
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光ヒューズ

(57)【要約】

【課題】 光直接増幅伝送システムにおいて、光サージパルスが発生した場合に、装置内の光部品が損傷することを防止し、かつ保守を容易とする光ヒューズを提供すること。

【解決手段】 信号光が入力される光入力部11と、光入力部11から入力される信号光に対して所定の傾斜角度で配置され、上記信号光のパワーによって透過率と反射率が不可逆的に変化する膜体6と、膜体6の透過光を外部に出力する光出力部12とを備え、上記信号光のパワーが所定のパワーを超えた場合に膜体6が上記信号光を減衰して前記光出力部からの信号光を遮断する。更に光検出器5で反射光3のパワー変化を検出し遮断を検知する。



BEST AVAILABLE COPY

**【特許請求の範囲】**

**【請求項 1】** 信号光が入力される光入力部と、前記光入力部から入力される信号光の光軸に対して所定の傾斜角度で配置され、前記信号光のパワーによって透過率と反射率とが不可逆的に変化する膜体と、前記膜体からの透過光を外部に出力する光出力部と、前記膜体からの反射光を検出する光検出器とを具備し、前記信号光パワーが所定の値を超えたときに前記膜体の透過率が低減して前記光出力部への信号光を遮断し、前記膜体の反射率変化による前記光検出器の受光量変化により信号光の遮断を検知することを特徴とする光ヒューズ。

**【請求項 2】** 信号光が入力される光入力部と、前記光入力部から入力される信号光の光軸に対して所定の傾斜角度で配置され、前記信号光のパワーによって透過率と反射率とが不可逆的に変化する膜体と、前記膜体からの反射光を外部に出力する光出力部と、前記膜体からの透過光を検出する光検出器とを具備し、前記信号光パワーが所定の値を超えたときに前記膜体の反射率が低減して前記光出力部への信号光を遮断し、前記膜体の透過率変化による前記光検出器の受光量変化により信号光の遮断を検知することを特徴とする光ヒューズ。

**【請求項 3】** 信号光が入力される光入力部と、前記信号光のパワーによって透過率が不可逆的に変化する膜体と、前記膜体の透過光を外部に出力する光出力部と、少なくとも前記膜体と前記光出力部の間に設けられた光カプラと、前記光カプラで分岐された光を検出する光検出部とを具備し、前記信号光パワーが所定の値を超えたときに前記膜体の透過率が低減して前記光出力部への信号光を遮断し、前記膜体の透過率変化による前記光検出部の受光量変化により信号光の遮断を検知することを特徴とする光ヒューズ。

**【請求項 4】** 信号光が入力される光入力部と、前記光入力部から入力される信号光の光軸に対して所定の傾斜角度で配置され、前記信号光のパワーによって反射率が不可逆的に変化する膜体と、前記膜体の反射光を外部に出力する光出力部と、少なくとも前記膜体と前記光出力部の間に設けられた光カプラと、前記光カプラで分岐された光を検出する光検出部とを具備し、前記信号光パワーが所定の値を超えたときに前記膜体の反射率が低減して前記光出力部への信号光を遮断し、前記膜体の反射率変化による前記光検出部の受光量変化により信号光の遮断を検知することを特徴とする光ヒューズ。

**【請求項 5】** 前記膜体は、ガラス基板上に誘電体材料を蒸着することによって形成された膜であることを特徴

とする請求項 1 乃至請求項 4 記載の光ヒューズ。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

**【発明の属する技術分野】** 本発明は、光ヒューズに係り、特に光部品を破壊し得る高強度光が伝送路中に発生した場合に、当該光部品の入力前で伝送路を瞬時に遮断して高強度光から光部品を保護し、かつ遮断時を検知する光ヒューズに関する。

**【0002】**

**【従来の技術】** 近年、長距離大容量光通信システムにおいては、伝送距離を伸ばすため、送信する信号光を直接光増幅する希土類元素ドープ光ファイバ増幅器が必要不可欠な要素となっている。この希土類元素ドープ光ファイバ増幅器は、光ファイバ中に添加された希土類元素を、送信する光信号の波長よりも短い波長のポンピング光で励起し、希土類元素ドープ光ファイバ増幅器を通過する光信号を、誘導放出により増幅するものである。

**【0003】** 希土類元素ドープ光ファイバ増幅器は、上述のように長距離大容量光通信システムに必要な要素であるが、高出力光を発生するために、当該増幅器の次段に配置した伝送路上の光部品を劣化又は破壊する原因になり、長距離大容量光通信システムの安定性、信頼性に支障をきたす事態が起こり得る。特に、希土類元素ドープ光ファイバ増幅器に信号光が入力されていない状態から、信号光が入力された状態に変化する過程において、副次的に発生するパルス状の高強度信号光成分（以下、光サージと呼ぶ）が、光部品の劣化要因となる。

**【0004】** 光サージが発生する理由は、以下のとおりである。即ち、信号光が入力されていない状態においては、常時信号光よりも短波長の励起光で希土類元素ドープ光ファイバ増幅器が励起されている。この場合には希土類元素が励起状態となっているため、光エネルギーが希土類元素ドープ光ファイバ増幅器内に蓄積されている。この状態で希土類元素ドープ光ファイバ増幅器内に信号光が入力すると、希土類元素ドープ光ファイバ増幅器内に蓄積されていたエネルギーが誘導放出によって一気に放出されるため信号光が光利得で増幅されるためである。

**【0005】** 従来このような光サージを防止する技術が種々提案されている。例えば、特開平 6-216452 号公報では、光サージの発生原因に着目し、光エネルギーが希土類元素ドープ光ファイバ増幅器内にエネルギーが蓄積されている状態で信号光が入力されても、利得を一定とする技術が開示されている。つまり、光サージが発生する原因は、信号光が入力されていない時に希土類元素ドープ光ファイバ増幅器に蓄えられたエネルギーの急激な誘導放出にあるため、信号光が入力されていない時に、信号光の波長とは異なる波長のダミー光を希土類元素ドープ光ファイバ増幅器に入射しておき、信号光と

ダミー光の光強度が一定となるように制御することによって光サージを防止する技術が開示されている。この技術は、光増幅器への光入力が増断状態にならないようにして光サージを発生させないようにする技術であり、発生した光サージを抑圧するものではない。

【0006】次に、この従来技術について更に詳細に説明する。図6は、従来技術の構成を示すブロック図である。図6において、まず、ダミー光半導体レーザ102からのダミー光（波長 $\lambda_3$ ）と信号光（波長 $\lambda_1$ ）とを光合波器101で合波し、光分岐器105においてその送信パワーの一部を分岐し、受光器104にて光／電気変換（O／E変換）する。ダミー光半導体レーザ発光制御回路103ではO／E変換した電圧値が一定となるようにダミー光半導体レーザ102にフィードバックをかける。

【0007】光合波器106は、合波された信号光及びダミー光と、励起用半導体レーザ107から出射される励起光（波長 $\lambda_2$ ）とを合波する。合波された光は光アイソレータ109を通じて希土類元素ドープ光ファイバ増幅器110へ入射し、希土類元素ドープ光ファイバ増幅器110内を伝搬する間に増幅される。希土類元素ドープ光ファイバ増幅器110から出射された光は、光アイソレータ111を通過した後、光フィルタ112によって信号光のみを透過させている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した従来技術においては、数多くの部品を使用するために信頼性の確保が大変であり、構成が複雑でコストが高くなるという問題があった。また、上記の従来方法は光サージの発生を防止するための方法であり、何らかの要因により伝送路内に光サージが発生した場合、光部品が損傷するのを防ぐ手段はないという問題があった。

【0009】本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、光直接増幅伝送システムにおいて、光サージパルスが発生した場合に、装置内の光部品が損傷することを防止する光ヒューズを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、信号光が入力される光入力部と、前記光入力部から入力される信号光の光軸に対して所定の傾斜角度で配置され、前記信号光のパワーによって透過率と反射率が不可逆的に変化する膜体と、前記膜体からの透過光を外部に出力する光出力部と、前記膜体からの反射光を検出する光検出器とを具備し、前記信号光パワーが所定の値を超えたときに前記膜体の透過率が低減して前記光出力部への信号光を遮断し、前記膜体の反射率変化による前記光検出器の受光量変化により信号光の遮断を検知することを特徴とする。また、本発明は、信号光が入力される光入力部と、前記光入力部から入力される信号光の光軸に対して所定の傾斜角度で配置され、前記

信号光のパワーによって透過率と反射率が不可逆的に変化する膜体と、前記膜体からの反射光を外部に出力する光出力部と、前記膜体からの透過光を検出する光検出器とを具備し、前記信号光パワーが所定の値を超えたときに前記膜体の反射率が低減して前記光出力部への信号光を遮断し、前記膜体の透過率変化による前記光検出器の受光量変化により信号光の遮断を検知することを特徴とする。また、信号光が入力される光入力部と、前記信号光のパワーによって透過率が不可逆的に変化する膜体と、前記膜体の透過光を外部に出力する光出力部と、少なくとも前記膜体と前記光出力部の間に設けられた光カプラと、前記光カプラで分岐された光を検出する光検出部とを具備し、前記信号光パワーが所定の値を超えたときに前記膜体の透過率が低減して前記光出力部への信号光を遮断し、前記膜体の透過率変化による前記光検出部の受光量変化により信号光の遮断を検知することを特徴とする。また、本発明は、信号光が入力される光入力部と、前記光入力部から入力される信号光の光軸に対して所定の傾斜角度で配置され、前記信号光のパワーによって反射率が不可逆的に変化する膜体と、前記膜体の反射光を外部に出力する光出力部と、少なくとも前記膜体と前記光出力部の間に設けられた光カプラと、前記光カプラで分岐された光を検出する光検出部とを具備し、前記信号光パワーが所定の値を超えたときに前記膜体の反射率が低減して前記光出力部への信号光を遮断し、前記膜体の反射率変化による前記光検出部の受光量変化により信号光の遮断を検知することを特徴とする。また、本発明は、前記膜体が、ガラス基板上に誘電体材料を蒸着することによって形成された膜であることを特徴とする。

【0011】第1の発明においては、通常の入射パワーで透過率が大きい膜体を使用した場合、透過光に対して光出力部を設けることにより、入射光がそのまま出力される。高強度光が入射し膜体の反射率と透過率が変化すると、透過光は大きく減少するため伝送路は遮断される。膜体の反射・透過特性が変化する光入力パワーは、次段に配置された光部品が損傷するパワーよりも小さく設定されているために、光部品が損傷する前に遮断状態となり、光部品を保護することができる。また、透過・反射特性が変化的ることによって反射光が増加し、光検出器に入射するので、遮断時を識別することが可能である。第2の発明においては、通常の入射パワーで反射率が大きい膜体を使用した場合、反射光に対して光出力部を設けることにより、入射光がそのまま出力される。高強度光が入射し膜体の反射率と透過率が変化すると、反射光は大きく減少するため伝送路は遮断される。膜体の反射・透過特性が変化する光入力パワーは、次段に配置された光部品が損傷するパワーよりも小さく設定されているために、光部品が損傷する前に遮断状態となり、光部品を保護することができる。また、透過・反射特性が変化的ることによって透過光が増加し、光検出器に入

射するので、遮断時を識別することが可能である。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施形態による光ヒューズについて詳細に説明する。

【第1発明の実施形態】図1は、本発明の第1実施形態による光ヒューズの構成図である。図1において、光ヒューズ1は、信号光2を入力する光入力部11及び信号光2を出力する光出力部12を有する。光入力部11及び光出力部12は、入力する信号光2の光軸上に配置される。

【0013】また、入力する信号光2の光軸上であって、光入力部11と光出力部12との間には、光入力部11から入力した信号光2の光軸に対して所定の傾斜角度をもって膜体6が配置される。この膜体6の光軸に対する角度は、透過率が90%以上、反射率が数%となるように調整されている。この結果、入射する信号光2の大部分が膜体6を透過して透過光4として光出力部12から出力される。

【0014】また、図1中5は、膜体6において反射されたわずかな反射光3を受光する光検出器である。ここで、膜体6は所定の光入射パワー以上で不可逆的に透過率と反射率が変化する特性を有している。本実施形態では、膜体6として所定の光入射パワー以上で透過率が数%に低下し、反射率がわずかに増加する膜体を使用している。

【0015】次に、図1に示した本発明の第1発明の実施形態による光ヒューズの動作について説明する。図2は、光入力部11へ入射する信号光の光入力パワーと、光出力部12から出力される光出力パワー（透過光4の光パワー）及び光検出器5で検出されるパワー（反射光3のパワー）との関係を示した図である。

【0016】図2中、符号P1で示した箇所は、膜体6の透過率および反射率が変化する閾値パワーである。光入力部11から、閾値パワーP1以下の光パワーを有する信号光2が入力された場合には、光入力部11に入射したパワーの大部分が光出力部12から出力され、光検出器5で受光される反射光の光パワーは僅かである。しかし、閾値パワーP1以上の光パワーを有する信号光2が入力された場合には、膜体6の透過率が急激に低下し、光出力部12からはほとんど出力されなくなり、膜体6の反射率がわずかに増加するため、光検出器5で検出されるパワーが増加する。

【0017】以上のように、本発明の第1発明の実施形態による光ヒューズにおいては、所定以上の光パワーを有する信号光が入力された場合には、膜体6の透過率が減少して信号光が遮断状態となり、光サージの出力を減少させることができるため、後段の光部材（図示省略）を破壊することがない。また、所定以上の光パワーを有する信号光が入力された場合には、光ヒューズ1の出力が遮断されるが、このときには膜体6の反射率が増

加し、反射光3の光パワーが増加する。従って、反射光3の光パワーを光検出器5で検出することにより光ヒューズ1の出力が遮断状態となったことを知ることができるため光ヒューズ1の交換時期を容易に知ることができる。

【0018】〈第1発明の実施形態の実施例〉発明者は、実際に光ヒューズ1を作成し、実験を行った。以下詳細に説明する。本実施例では、光入力部11、光出力部12として分散シフトファイバ(DSF)を用い、光検出器5としてInGaAs-PIN フォトダイオードを使用した。また、膜体6はガラス基板上に蒸着によってSiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>の多層膜構造を形成したものであり、光出力部12は膜体6の透過側に配置している。膜体6の透過率は99.0%、反射率は1%である。

【0019】信号光2として、波長1.55μm、入力パワー0.8Wの通常の信号光を入射しても膜体6の透過率・反射率は変化しなかった。また、光ヒューズ1の挿入損失は3dB、反射光パワーは0.01mWであった。この光ヒューズ1に光サージピークパワー3Wを伴った信号光を入射すると、光ヒューズ1からはピークパワー1Wの光サージまでしか出力されなかった。その後、0.8Wの信号光を入射すると、挿入損失は15dBに増加し、反射光パワーは0.05mWに増加していたことから、光サージが入射したことによって膜体6の透過・反射特性が不可逆的に変化し、信号光が遮断状態となることを確認した。

【0020】【第2発明の実施形態】図3は、本発明の第2発明の実施形態による光ヒューズの構成図である。図3に示した本発明の第2発明の実施形態による光ヒューズが図1に示した本発明の第1発明の実施形態による光ヒューズと異なる点は、光出力部12が膜体6の反射光を出力する位置に配置され、光検出器5が信号光2の光軸上であって、膜体6の透過光を受光する位置に配置された点である。本実施形態において用いられている膜体6は、図1に示した第1発明の実施形態と同様のものであり、その反射率及び透過率が第1発明の実施形態と異なるように、入力する信号光2の光軸に対して全反射角となるように傾斜角を調整して配置されている。

【0021】つまり、図2に示した特性と同様な膜体6を用いる点は第1実施形態と同一であるが、反射率が90%以上であり、透過率が数%となるよう配置されている。このように配置された膜体6は、入力される信号光2の光パワーが閾値パワーP1以下である場合には、入力される信号光のパワーにほぼ比例して反射光3、即ち出力光のパワーが増加し、入力される信号光2の光パワーが閾値パワーP1以上である場合には反射率が低下し、透過率が僅かに増加する特性を有する。

【0022】本発明の第2発明の実施形態では、入力される信号光2の光軸と、反射光3、即ち出力光の光軸とが異なるため、入力される信号光2の光軸と出力光の光

軸とが同一に配置することができない実装形態に用いることができる。また、本実施形態においては、膜体 6 の透過光を光検出器 5 で検出しているため、第 1 発明の実施形態と同様、光ヒューズ 1 の出力が遮断状態となったことを知ることができるため光ヒューズ 1 の交換時期を容易に知ることができる。

【0023】〔第 3 発明の実施形態〕図 4 は、本発明の第 3 発明の実施形態による光ヒューズの構成図である。図 4 に示した本発明の第 3 発明の実施形態による光ヒューズが図 1 に示した本発明の第 1 発明の実施形態による光ヒューズと異なる点は、膜体 6 が信号光 2 の光軸に対して所定の角度をもって配置されていない点が第 1 点目である。また、光入力部 11 及び膜体 6 の間と、膜体 6 及び光出力部 12 の間とに光カプラ 7、7 が各々設けられ、光カプラ 7、7 に光検出部 5、5 が接続されている点が第 2 点目である。

【0024】本実施形態で使用する膜体 6 は、光サージが入射した場合に、膜体 6 の透過率が減少し、伝送路が遮断状態となる特性のみが必要であり、反射特性は重要な要素ではない。上述の光検出部 5、5 は、それぞれ光入力部 11 から入力される信号光 2 及び膜体 6 の透過光を検出する。つまり、光検出部 5、5 は、光ヒューズの入出力光をそれぞれモニタしており、通常の信号光が入力されてる実使用状態では光検出器 5、5 はそれぞれの光を検出するのに対し、光サージが入射した後の伝送路が遮断状態となった場合は入力側の光検出器では光を検出するが、出力側では検出しない。従って、光検出部 5、5 の出力をモニタすることによって、光ヒューズ 1 による伝送路が遮断状態となったことを識別することができる。なお、ここで使用する光カプラ 7、7 は分岐比が大きいため、光サージが入射した場合であっても光検出器を損傷することはない。

【0025】〔第 4 発明の実施形態〕図 5 は、本発明の第 4 発明の実施形態による光ヒューズの構成図である。図 5 に示した本発明の第 4 発明の実施形態による光ヒューズが図 4 に示した本発明の第 3 発明の実施形態による光ヒューズと異なる点は、膜体 6 が信号光 2 の光軸に対して所定の角度をもって配置されており、膜体 6 が入力される信号光 2 を反射する位置に光出力部 12 が配置され、それに伴って光カプラ 7 の位置が設定されている点である。つまり、膜体 6 と光出力部 12 との間に配置される光カプラ 7 は反射光（出力光）3 の光軸上に配置している。

【0026】本実施形態で使用する膜体 6 は、光サージが入射した場合に、膜体 6 の反射率が減少し、伝送路が遮断状態となる特性のみが必要であり、透過特性は重要な要素ではない。上述の光検出部 5、5 は、第 3 発明の実施形態と同様に、それぞれ光入力部 11 から入力される信号光 2 及び膜体 6 の反射光を検出する。つまり、光検出部 5、5 は、光ヒューズの入出力光をそれぞれモニ

タしており、通常の信号光が入力されてる実使用状態では光検出器 5、5 はそれぞれの光を検出するのに対し、光サージが入射した後の伝送路が遮断状態となった場合は入力側の光検出器では光を検出するが、出力側では検出しない。従って、光検出部 5、5 の出力をモニタすることによって、光ヒューズ 1 による伝送路が遮断状態となったことを識別することができる。なお、本実施形態においても、光カプラ 7、7 は分岐比が大きいため、光サージが入射した場合であっても光検出器を損傷することはない。

【0027】以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されず、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。例えば、膜体 6 は  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  を多層膜構造にしたものを用いたが、これらに限られない。例えば、一般的に知られているように、蒸着物質として  $\text{MgF}_2$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{Ce}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{Ge}$  等やこれらの酸化物（誘電体材料）を用いてもよい。

【0028】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明によれば、所定値以上の光パワーが入射されたときに、瞬時に反射率と透過率の少なくとも一方が不可逆的に変化する膜体を使用することにより、透過光又は反射光を減衰させて、光出力部への出力を遮断状態とすることができるため、光ヒューズの次段に配置された光部品を損傷から防止することができるという効果がある。また、光ヒューズの出力が遮断した場合は光検出器で遮断状態を検知できるため、部品の交換時期を知ることができ保守が容易になるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 発明の実施形態による光ヒューズの構成図である。

【図 2】 光入力部 11 へ入射する信号光の光入力パワーと、光出力部 12 から出力される光出力パワー及び光検出器 5 で検出されるパワーとの関係を示した図である。

【図 3】 本発明の第 2 発明の実施形態による光ヒューズの構成図である。

【図 4】 本発明の第 3 発明の実施形態による光ヒューズの構成図である。

【図 5】 本発明の第 4 発明の実施形態による光ヒューズの構成図である。

【図 6】 従来技術の構成を示すブロック図である。

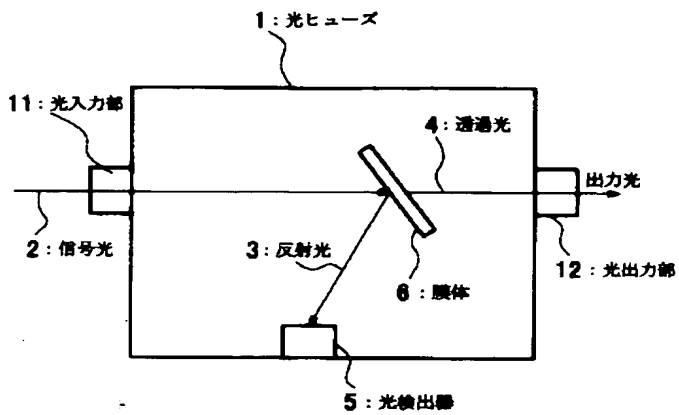
【符号の説明】

- |   |       |
|---|-------|
| 1 | 光ヒューズ |
| 2 | 信号光   |
| 3 | 反射光   |
| 4 | 透過光   |
| 5 | 光検出器  |
| 6 | 膜体    |
| 7 | 光カプラ  |

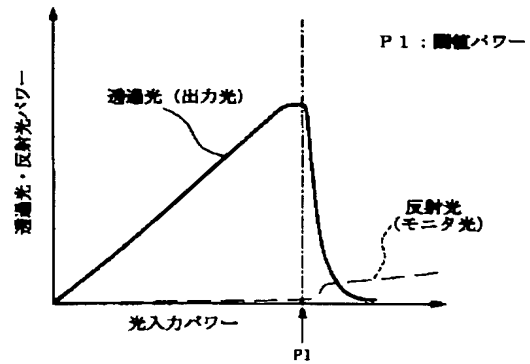
1 1 光入力部

1 2 光出力部

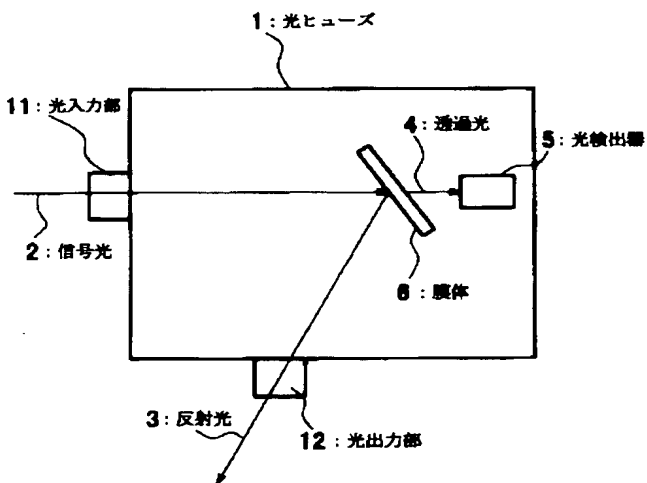
【図 1】



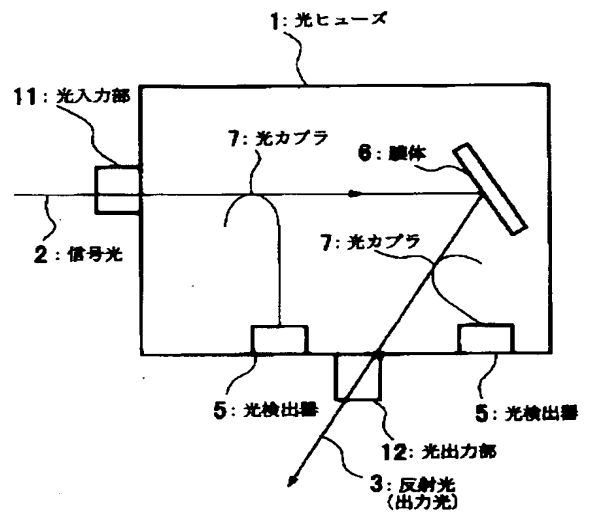
【図 2】



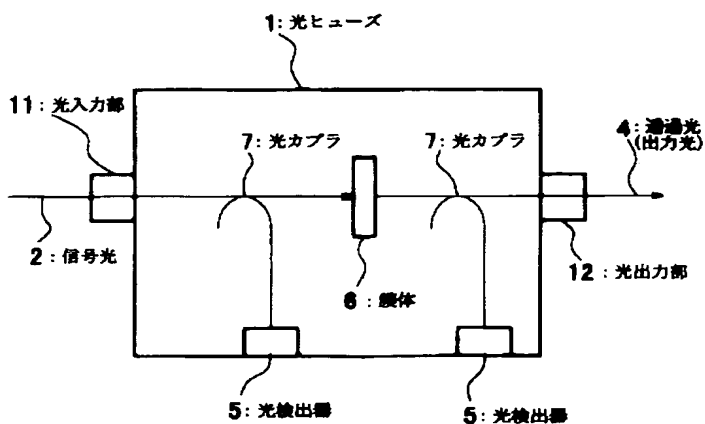
【図 3】



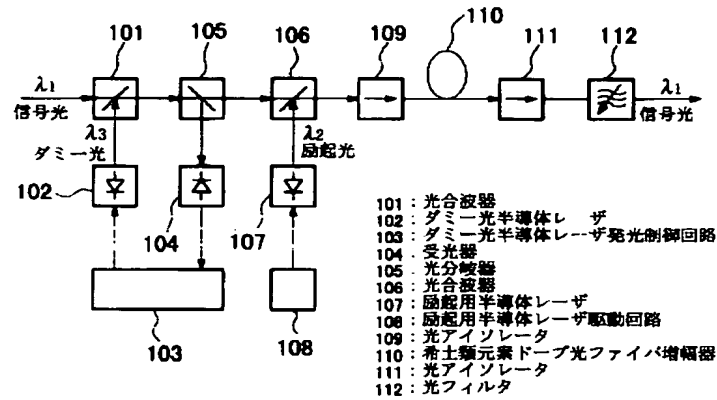
【図 5】



【図 4】



【図 6】



フロントページの続き

(72) 発明者 永田 裕俊  
 東京都千代田区神田美土代町 1 番地 住友  
 大阪セメント株式会社内

(72) 発明者 市川 潤一郎  
 東京都千代田区神田美土代町 1 番地 住友  
 大阪セメント株式会社内

(72) 発明者 日隈 薫  
 東京都千代田区神田美土代町 1 番地 住友  
 大阪セメント株式会社内